

Schlussbericht

– Kurzfassung –

zu dem IGF-Vorhaben

Entwicklung energieautarker multisensorischer RFID-Transponder zur qualitativen Überwachung von TUL-Prozessen (EARP)

der Forschungsstelle(n)

Institut für Distributions- und Handelslogistik (IDH) des VVL e. V.

Das IGF-Vorhaben 17593 N der Forschungsvereinigung Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik (GVB) e. V. wurde über die



im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Der vollständige Bericht kann als PDF-Dokument gegen eine Schutzgebühr in Höhe von 60 Euro inkl. MwSt. bei der Forschungsvereinigung unter der Adresse sekretariat@gvb-ev.de angefordert werden.

Dortmund, 28.11.2014

Ort, Datum

Dipl.-Logist. Tim Siebels

Name und Unterschrift des/der Projektleiter(s)
an der/den Forschungsstelle(n)

Zusammenfassung

Das wesentliche Ziel des vorliegenden Forschungsprojekts lag in der Realisierung einer autarken Energieversorgung bei multisensorischen RFID-Transpondern. Zudem sollten neue Erkenntnisse bezüglich der bei der Durchführung von TUL-Prozessen an einer Ladeinheit auftretenden Umgebungsenergien gewonnen werden, die mittels entsprechender Energy-Harvesting-Technologien in elektrische Energie umgewandelt und damit für den Sensortransponder nutzbar gemacht werden können.

Hierzu wurden zunächst Praxisversuche durchgeführt, aus denen die Umgebungsenergien abgeleitet wurden, die im Zusammenhang mit TUL-Prozessen der Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasser in Form von Lichtstrahlung, Temperaturdifferenzen und Vibrationen an einer Ladeinheit zur Verfügung stehen. Des Weiteren wurden die im Rahmen der Praxis-tests aufgezeichneten Beschleunigungsmesswerte mithilfe einer Fast Fourier Transformation (FFT) im Hinblick auf die Frequenzbereiche ausgewertet, innerhalb derer die größten Amplituden der Beschleunigung zu erwarten sind, da diese Information bei der Auswahl bzw. Optimierung eines Vibrationsgenerators von besonderem Interesse ist.

Auf der Grundlage der neu gewonnenen Erkenntnisse wurden im weiteren Projektverlauf ein elektromagnetischer Vibrationsgenerator, eine Solarzelle, ein Energiemanagement-Modul sowie ein multisensorischer RFID-Transponder zur Überwachung der Parameter Feuchte und Temperatur beschafft. Aus diesen Einzelkomponenten wurde ein Funktionsmuster eines energieautarken multisensorischen RFID-Transponders angefertigt, dessen grundsätzliche Funktionsfähigkeit im Rahmen von Laborversuchen nachgewiesen werden konnte.

Die im Forschungsantrag formulierten Zielsetzungen wurden erreicht.

Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben 17593 N / 1 der Forschungsvereinigung Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik e. V. – GVB, Wiesenweg 2, 93352 Rohr wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	4
1 Problemstellung und derzeitiger Stand der Technik.....	5
2 Lösungsansatz und Zielstellung des Forschungsprojektes.....	8
3 Projektdurchführung und Erkenntnisfortschritt	9
4 Grad der Umsetzung und wirtschaftliche Vorteile für KMU	14
5 Zusammenfassung und Ausblick	15
6 Maßnahmen zum Ergebnistransfer	18
7 Literaturverzeichnis.....	19

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schwachstellen der Laderaumüberwachung innerhalb einer Distributionskette mit Vor-, Haupt- und Nachlauf ([JE11], S. 109)	6
Abbildung 2: Transportüberwachung auf der Ebene der Ladeeinheit innerhalb einer Distributionskette mit Vor-, Haupt- und Nachlauf ([JE11], S. 109)	7
Abbildung 3: Nutzbare Temperaturdifferenzen während eines beispielhaften Seetransportes	10
Abbildung 4: Linienspektrum beim Straßentransport im Frequenzbereich von 0 bis 400 Hertz	11
Abbildung 5: Linienspektrum beim Schienentransport im Frequenzbereich von 0 bis 400 Hertz	12
Abbildung 6: Linienspektrum beim Seetransport im Frequenzbereich von 0 bis 2,148 Hertz	12
Abbildung 7: Funktionsmuster eines energieautarken multisensorischen RFID-Transponders zur Überwachung der Parameter Feuchte und Temperatur (zur Veranschaulichung ohne Gehäusedeckel dargestellt)	13

1 Problemstellung und derzeitiger Stand der Technik

Die Zustandsüberwachung innerhalb der Distributionskette ist eine Thematik, die in der logistischen Praxis häufig vernachlässigt wird. Dabei treten gerade im Rahmen von Transport-, Umschlag- und Lagerprozessen (TUL-Prozessen) mechanische und klimatische Belastungen auf, die eine Verminderung der Güterqualität hervorrufen können ([JE11], S. 108). Die Intensität und Häufigkeit, mit der diese Belastungen auftreten, werden innerhalb von Normen – wie z. B. in den ASTM-Standards oder in der DIN 30786-2 (vgl. [ASTM06]; [ASTM09]; [DIN13]) – beschrieben. Die an den TUL-Prozessen beteiligten Unternehmen stehen in der Verantwortung, die Güter anhand von Ladungssicherungsmaßnahmen sowie geeigneten Produkt- und Transportverpackungen vor diesen Belastungen zu schützen und sicherzustellen, dass das in den Normen beschriebene Maß der Belastungen nicht überschritten wird. Im Falle einer Belastungsüberschreitung ist es demnach von besonderem Interesse, den Verursacher dieser Überschreitung exakt identifizieren zu können ([Sie13], S. 78). Allerdings existieren diesbezüglich in der Praxis bislang noch keine zufriedenstellenden Lösungen ([Sie14a], S. 12).

Zwar existieren Produkte auf dem Markt, mithilfe derer eine Zustandsüberwachung im Rahmen von TUL-Prozessen realisiert werden kann, jedoch kommen diese in der Praxis u. a. aus Kostengründen nur in speziellen Fällen (z. B. zur Überwachung des Zustandes von sehr hochwertigen Gütern) zum Einsatz. Sie beschränken sich dabei zumeist auf die Tiefkühl- und Kühllogistik und in diesem Zusammenhang auf die Überwachung der Umgebungstemperatur auf Laderaumebene. Zusätzlich zum Parameter Temperatur gilt es im Zusammenhang mit TUL-Prozessen jedoch, weitere mechanische und klimatische Belastungen zu überwachen, die beispielsweise in Form von Stößen, Luftdruck oder Luftfeuchtigkeit auftreten und einen negativen Einfluss auf die zu befördernden Güter haben können.

Ein elementares Problem, das bei einer ausschließlichen Überwachung auf Laderaumebene entsteht, besteht in Überwachungsunterbrechungen beim Umschlag oder der Zwischenlagerung einzelner Ladeeinheiten. Zudem ist ein Temperaturmessfühler, der die Temperatur eines Laderaumes aufzeichnet, gleichzeitig mehreren Ladeeinheiten zugeordnet (1:n-Überwachung), was bei im Laderaum auftretenden Temperaturunterschieden zu wenig aussagekräftigen Ergebnissen führt. Weitere Probleme, die durch eine Zustandsüberwachung entstehen, die lediglich auf der Ebene des Laderaumes erfolgt, bestehen in

möglichen Unterschieden bei den einzelnen Überwachungssystemen für z. B. Lkw, Seeschiff oder Bahn im Hinblick auf Typ, Hersteller, Genauigkeit, Kalibrierung usw. sowie im Umstand, dass sich die Überwachungsmöglichkeiten jeweils nur auf einzelne Teilprozesse der Distributionskette beschränken und damit jeder Prozessbeteiligte selbst für die Überprüfung der Unversehrtheit der Ladeeinheiten verantwortlich ist. Die Probleme, die durch eine ausschließliche Überwachung auf Laderaumebene entstehen, werden in der folgenden **Abbildung 1** noch einmal visuell veranschaulicht:

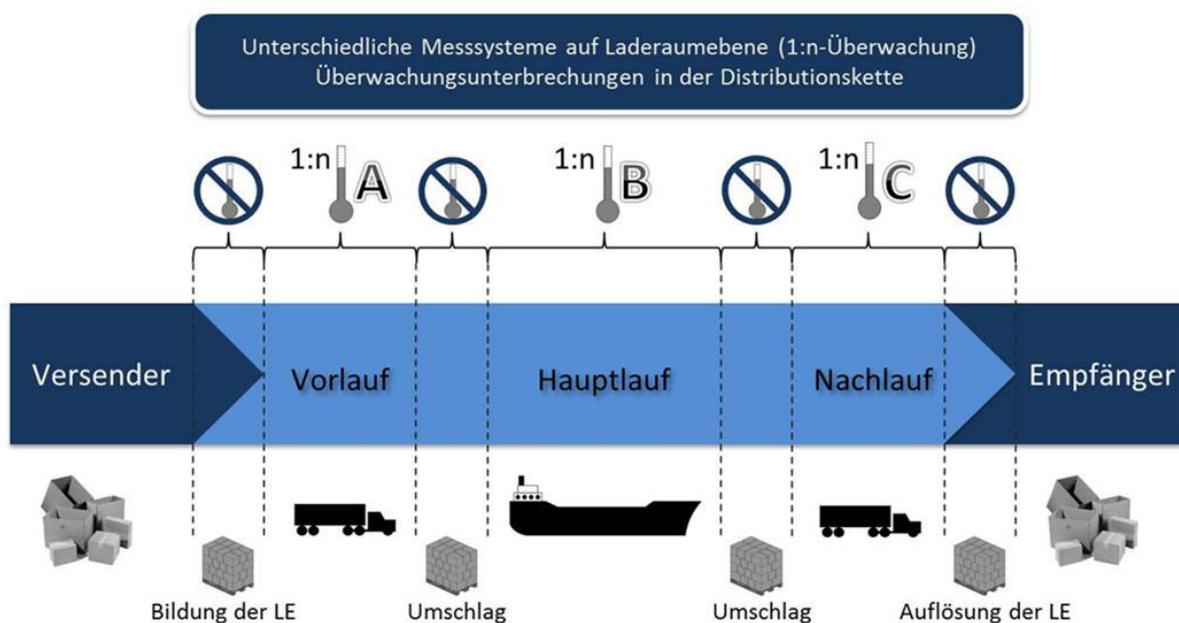


Abbildung 1: Schwachstellen der Laderaumüberwachung innerhalb einer Distributionskette mit Vor-, Haupt- und Nachlauf ([JE11], S. 109)

Ein vielversprechender Ansatz ist in diesem Zusammenhang der Einsatz multisensorischer RFID-Transponder, mit deren Hilfe Datenlogger realisierbar sind, die eine kontinuierliche Überwachung der Distributionskette auf Ladeeinheitenebene (1:1-Überwachung) gewährleisten, wobei zudem Parameter wie z. B. Druck, Beschleunigung oder Feuchte Berücksichtigung finden können (vgl. [Ent10]). Außerdem kann das Auslesen der Überwachungsdaten automatisiert und damit regelmäßig erfolgen, wodurch das Aufdecken individueller Fehler innerhalb einer Distributionskette ermöglicht wird und insgesamt die Prozesstransparenz deutlich gesteigert werden kann (vgl. [JE11], S. 110; [Sie14b], S. 26). Die Vorteile, die die Realisierung einer Transportüberwachung auf Ladeeinheitenebene im Vergleich zu einer Überwachung auf der Ebene des Laderaumes aufweist, werden in der **Abbildung 2** verdeutlicht:

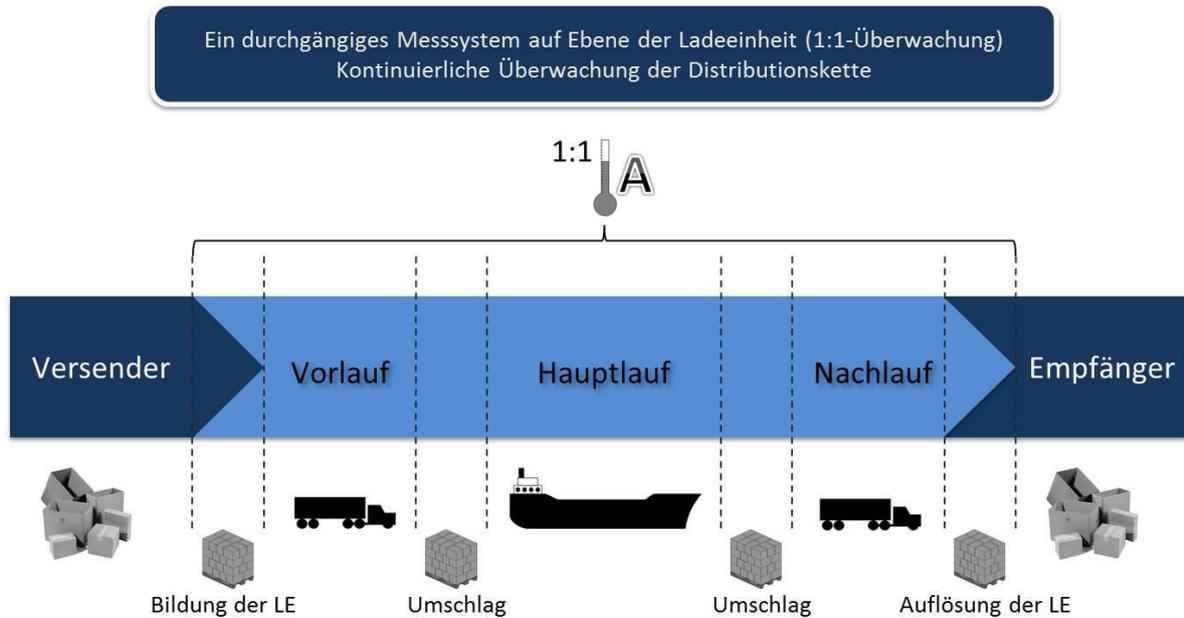


Abbildung 2: Transportüberwachung auf der Ebene der Ladeeinheit innerhalb einer Distributionskette mit Vor-, Haupt- und Nachlauf ([JE11], S. 109)

Um sensorische RFID-Transponder jedoch auch wirtschaftlich einsetzen zu können, ist zur Vermeidung aufwendiger Rücktransporte eine Integration der Transponder in mehrwegfähige Transporthilfsmittel anzustreben, die sich in geschlossenen Kreisläufen bewegen. Dieses ist vor allem dadurch begründet, dass Sensortransponder im Vergleich zu reinen Identifikationstranspondern sehr kostenintensiv sind und ihr Einsatz als Einwegdatenträger damit nur für äußerst hochwertige Güter geeignet ist ([JSS14], S. 112). Ein wesentliches Problem, das hierbei allerdings auftritt, besteht in der vergleichsweise geringen Lebensdauer der Energiequelle semiaktiver Transponder. Während die Lebenserwartung von Transporthilfsmitteln in der Regel im Bereich mehrerer Jahre liegt, reicht die Energie der Transponder in Abhängigkeit von der Nutzungshäufigkeit, den Sensortypen und der angestrebten Messgenauigkeit zum Teil nur für wenige Wochen oder Monate. In diesem Fall ist ein vorzeitiger Austausch des Transponders oder seiner Energiequelle notwendig, wobei sich die hierbei entstehenden Kosten entsprechend negativ auf die Wirtschaftlichkeit auswirken.

2 Lösungsansatz und Zielstellung des Forschungsprojektes

Bei multisensorischen RFID-Transpondern, die durch eine ständige Aufzeichnung von Messwerten eine kontinuierliche Überwachung der Distributionskette gewährleisten, handelt es sich in der Regel um sogenannte semiaktive Transponder, bei denen die für die Datenübertragung benötigte Energie durch das elektromagnetische Feld eines Lesegerätes und die Energie, die zur Versorgung der Sensoren, des Mikrocontrollers und des RFID-Frontends notwendig ist, zumeist in Form von Primärzellen – oder in seltenen Fällen durch Sekundärzellen – bereitgestellt wird. Der aktiv mit Energie versorgte Teil beeinflusst somit im Wesentlichen die Lebenserwartung des sensorischen Transponders (vgl. [Fin12], S. 23 ff.). Um diese zu erhöhen, können zurzeit allerdings nur die Energiekapazität der Zelle erhöht oder der Energieverbrauch reduziert werden. Der Kapazitätserweiterung sind hierbei jedoch neben der bei Primärzellen üblichen Selbstentladung im Regelfall auch bauliche Grenzen gesetzt, da der Transponder je nach Anwendungsfall bestimmte äußere Maße nicht überschreiten darf. Auch der Energieverbrauch kann nicht beliebig gesenkt werden, da dieser in erster Linie vom Gebrauch und von der Konfiguration des Transponders abhängt.

Um dem dargestellten Sachverhalt zu begegnen, lag das elementare Ziel des Forschungsprojektes „EARP“ in der Realisierung einer autarken Energieversorgung bei multisensorischen RFID-Transpondern. Der Lösungsansatz bestand darin, als Alternative zu den Primärzellen auf sogenannte Energy-Harvesting-Technologien zurückzugreifen. Durch den Einsatz von Energy-Harvesting-Modulen kann vorhandene Umgebungsenergie, die im Zusammenhang mit TUL-Prozessen zum Beispiel in Form von Vibrationen und Stößen während eines Transportes, durch Lichtstrahlung im Rahmen der Lagerung oder durch auftretende Temperaturdifferenzen entsteht, in elektrische Energie umgewandelt und somit zur Energieversorgung des Transponders genutzt werden. Im Vorfeld der Projektdurchführung wurden Vibrationsgeneratoren, photovoltaische Zellen und thermoelektrische Generatoren als geeignete Energy-Harvesting-Technologien zur Energiegewinnung im Rahmen logistischer Prozesse identifiziert. Bezüglich der mittels dieser Technologien erzielbaren Energiemengen sollten innerhalb des Projektes neue Erkenntnisse für den speziellen Anwendungsfall an einem im Rahmen von TUL-Prozessen eingesetzten mehrwegfähigen Transporthilfsmittel gewonnen werden.

3 Projektdurchführung und Erkenntnisfortschritt

Im Rahmen des Forschungsprojektes „EARP“ wurden zunächst Praxisversuche durchgeführt und hieraus neue Erkenntnisse in Bezug auf vorhandene Umgebungsenergien abgeleitet, die im Zusammenhang mit TUL-Prozessen der Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasser in Form von Lichtstrahlung, Temperaturdifferenzen (innerhalb und außerhalb der Ladeinheit) und Vibrationen an einer Ladeinheit zur Verfügung stehen.

Aus den in den Praxisversuchen erhobenen Messdaten ließ sich u. a. die Alltagserfahrung bestätigen, dass im Rahmen von Transportprozessen – sowohl in Sattelaufliegern als auch in Wechselbrücken und ISO-Containern – keinerlei verwertbare Lichtstrahlung vorhanden ist. Des Weiteren waren die Temperaturdifferenzen, die zwischen dem Innenraum und der Außenwand des für die Praxistests beispielhaft eingesetzten thermoisolierten Kunststoffrollbehälters auftraten (siehe **Abbildung 3**), als relativ gering einzustufen, sodass die Schlussfolgerung gezogen werden konnte, dass der Einsatz einer Solarzelle zur Energieerzeugung während eines Transportes – bezogen auf die Anwendung innerhalb des Laderaumes – ungeeignet ist und die Verwendung thermoelektrischer Generatoren nur für spezielle Anwendungen (z. B. während eines temperaturgeführten Transportes) in Frage kommt. Da bei der Versuchsdurchführung signifikante Beschleunigungsmesswerte aufgezeichnet wurden, konnte festgehalten werden, dass bei Transport- und Umschlagprozessen die Energy-Harvesting-Technologie des Vibrationsgenerators am besten zur Energiegewinnung geeignet ist. Darüber hinaus konnte aus den Ergebnissen der Praxismessungen heraus die Erkenntnis gewonnen werden, dass ein innerhalb von logistischen Prozessen eingesetzter Vibrationsgenerator auf die vertikale Schwingachse auszurichten ist, da über diese insgesamt die größten Beschleunigungsmesswerte aufgezeichnet wurden.

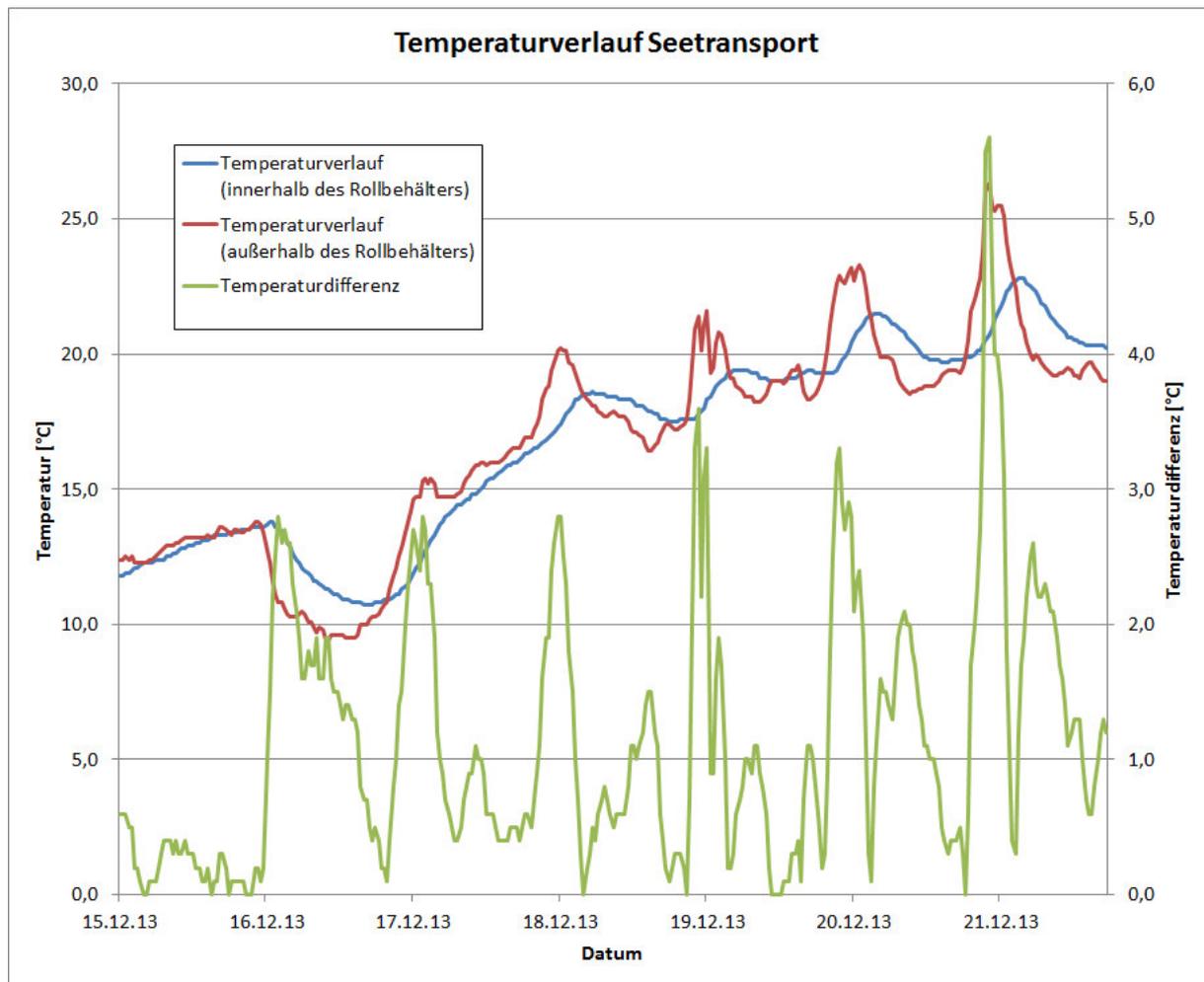


Abbildung 3: Nutzbare Temperaturdifferenzen während eines beispielhaften Seetransportes

Im Hinblick auf den Lagerprozess konnte hingegen die Lichtstrahlung als die am besten geeignete Energiequelle identifiziert werden. Tagsüber wurden – unter Berücksichtigung unterschiedlicher klimatischer Bedingungen und Einflussparameter bezüglich des Lichteinfalls an einer Ladeinheit – in einer Lagerhalle Beleuchtungsstärken von ca. 1000 Lux im Durchschnitt gemessen, und sogar bei reiner Nachtbeleuchtung waren noch durchschnittlich ca. 170 Lux vorhanden, die zur Energiegewinnung während der Lagerung genutzt werden können. Für die Energiegewinnung im Zusammenhang mit TUL-Prozessen verfügen demnach die Energy-Harvesting-Technologien des Vibrationsgenerators und der Solarzelle über die beste Eignung und sind in Kombination einzusetzen, um einen multisensorischen RFID-Transponder mit der für die Sensoren benötigten Energie zu versorgen.

In einem weiteren Schritt wurde – auf der Grundlage der im Rahmen der Praxistests aufgezeichneten Beschleunigungsmesswerte – mithilfe der Fast-Fourier-Transformation (FFT) sowie unter Berücksichtigung der Norm DIN EN 15433-4 (vgl. [DIN08]) eine Spektralanalyse durchgeführt, um hierdurch für die verschiedenen betrachteten Verkehrsträger die Frequenzbereiche zu bestimmen, innerhalb derer die größten Amplituden der Beschleunigung zu erwarten sind, da diese Information bei der Auswahl bzw. Optimierung eines Vibrationsgenerators unabdingbar ist. In den folgenden **Abbildungen 4, 5 und 6** sind die Ergebnisse der Spektralanalyse für die untersuchten Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasser in Form des sogenannten Linienspektrums grafisch dargestellt:

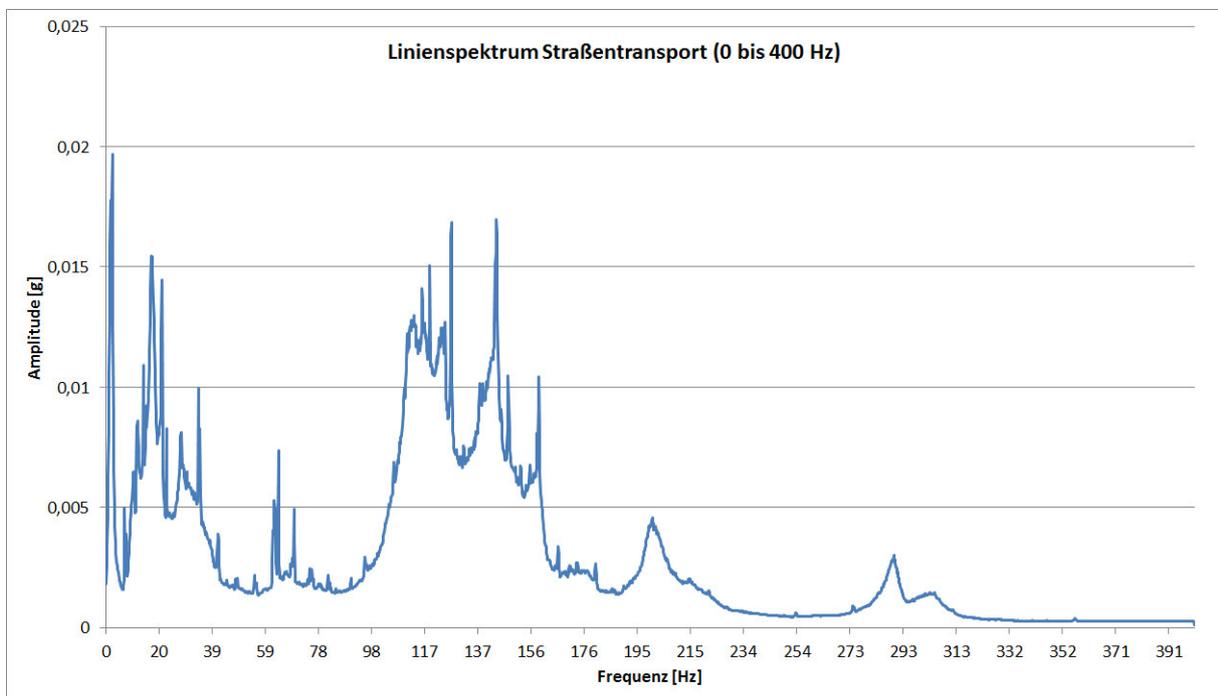


Abbildung 4: Linienspektrum beim Straßentransport im Frequenzbereich von 0 bis 400 Hertz

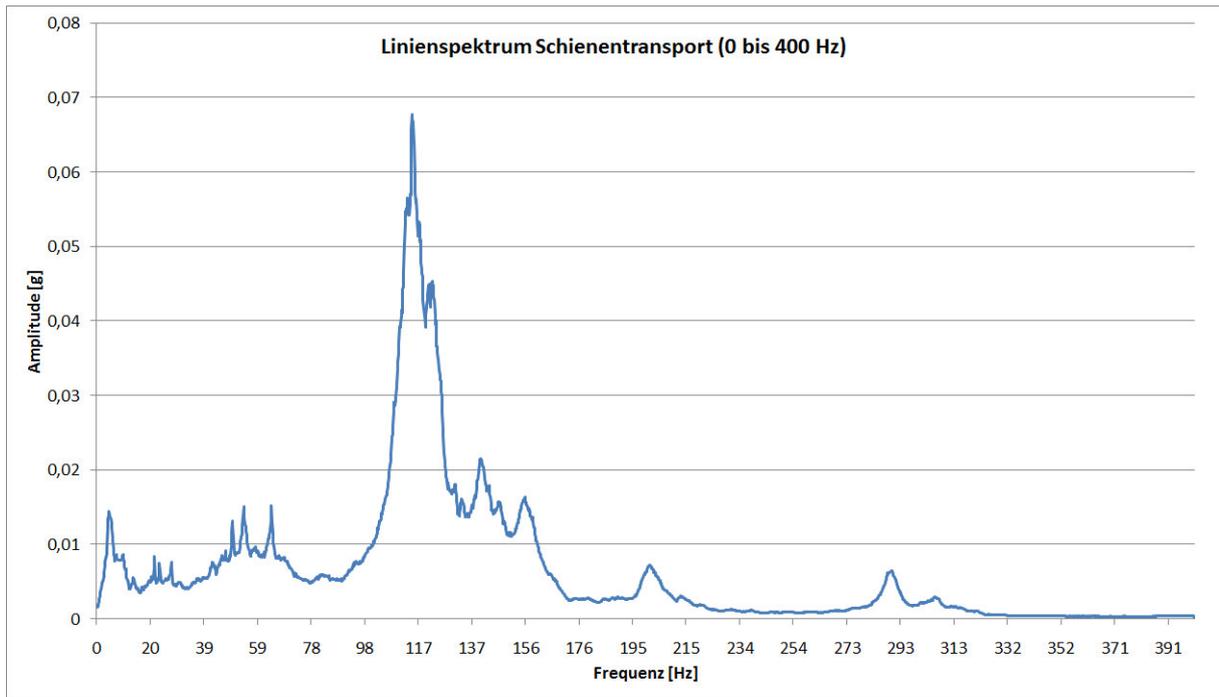


Abbildung 5: Linienspektrum beim Schienentransport im Frequenzbereich von 0 bis 400 Hertz

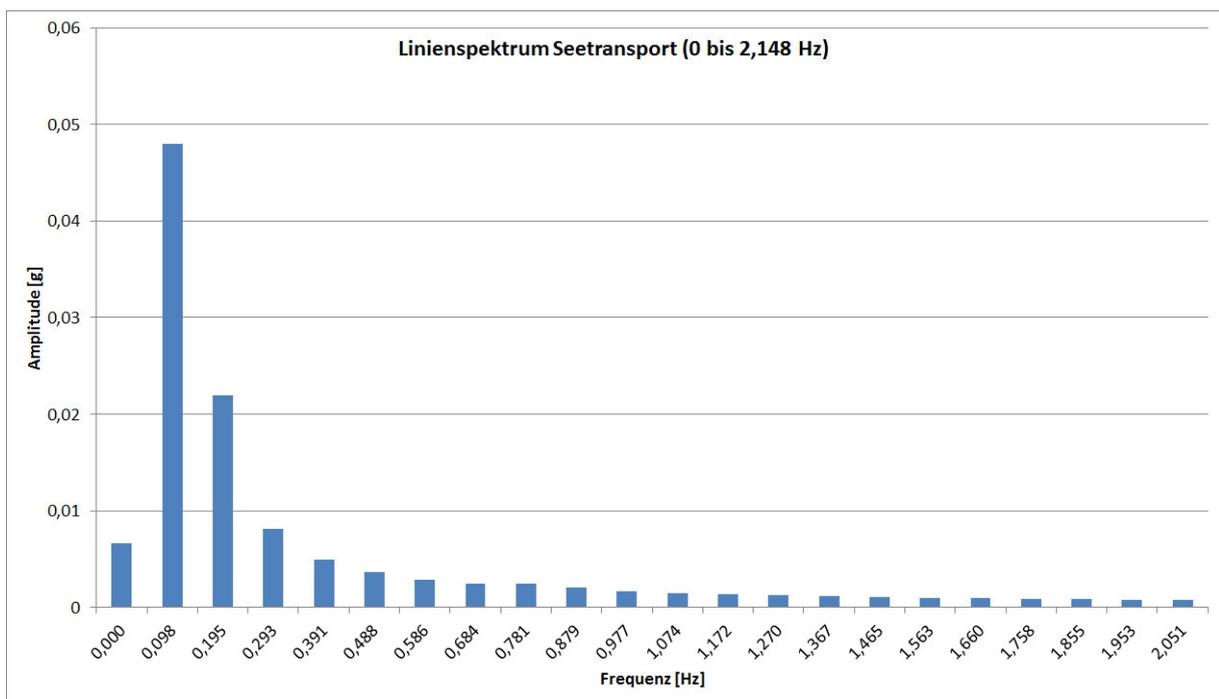


Abbildung 6: Linienspektrum beim Seetransport im Frequenzbereich von 0 bis 2,148 Hertz

Vorherige wissenschaftliche Erkenntnisse zu den im Zusammenhang mit Straßen-, Schienen- und Seetransporten auftretenden Beschleunigungen sowie den relevanten Frequenzbereichen basierten ausschließlich auf Messungen, die auf der Ladefläche der jeweiligen Transportmittel durchgeführt wurden. Bezüglich der an einer Ladeinheit in Form von

Vibrationen, Lichtstrahlung und Temperaturdifferenzen zur Verfügung stehenden Umgebungsenergien lagen zu Projektbeginn jedoch keine ausreichenden Informationen vor. Dies verdeutlicht den hohen Innovationsgrad der im Projekt erzielten Ergebnisse.

Auf Basis der neu gewonnenen Erkenntnisse wurden im weiteren Projektverlauf ein elektromagnetischer Vibrationsgenerator, eine Solarzelle, ein Energiemanagement-Modul sowie ein multisensorischer RFID-Transponder zur Überwachung der Parameter Feuchte und Temperatur beschafft. Aus diesen Einzelkomponenten wurde ein Funktionsmuster eines energieautarken multisensorischen RFID-Transponders angefertigt (siehe **Abbildung 7**), dessen grundsätzliche Funktionsfähigkeit im Rahmen von Laborversuchen nachgewiesen werden konnte. So ist beispielsweise die mechanische Energie, die bei einem Straßentransport mittels eines elektromagnetischen Vibrationsgenerators in elektrische Energie umgewandelt werden kann, ausreichend für 9 Feuchte- und Temperaturmessungen in der Minute. Die Strahlungsenergie, die im Rahmen der Lagerung durch eine Solarzelle in elektrische Energie umgewandelt werden kann, reicht tagsüber für 18 und bei Nachtbeleuchtung für jeweils 3 Feuchte- und Temperaturmessungen in der Minute.

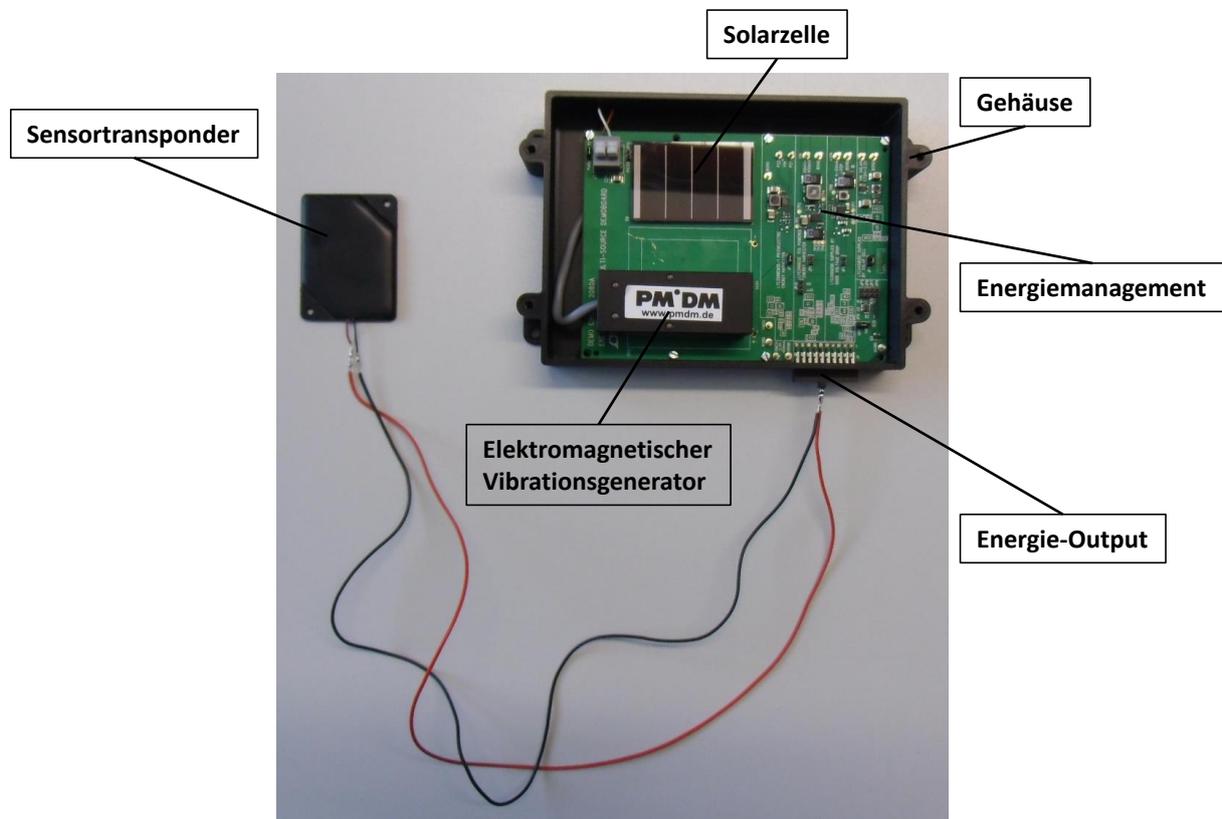


Abbildung 7: Funktionsmuster eines energieautarken multisensorischen RFID-Transponders zur Überwachung der Parameter Feuchte und Temperatur (zur Veranschaulichung ohne Gehäusedeckel dargestellt)

Darüber hinaus wurde im Rahmen der im Projekt vollzogenen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mithilfe des Instrumentes der Netzwerk-Balanced Scorecard ein Werkzeug entwickelt, mit welchem der voraussichtliche Nutzen der Einführung multisensorischer RFID-Transponder zur qualitativen Überwachung logistischer Prozesse – je nach Anwendungsfall – abgeschätzt werden kann.

4 Grad der Umsetzung und wirtschaftliche Vorteile für KMU

Die im IGF-Forschungsprojekt „Entwicklung energieautarker multisensorischer RFID-Transponder zur qualitativen Überwachung von TUL-Prozessen (EARP)“ erarbeiteten Ergebnisse verfügen über einen vorwettbewerblichen Charakter.

Hersteller von Energy-Harvesting-Generatoren und mobilen elektronischen Geräten können die im Kapitel 3 beschriebenen neu gewonnenen Erkenntnisse bei der Entwicklung neuer Produkte nutzen und hierdurch neue Anwendungsfelder erschließen. Gelingt es diesen Unternehmen – unter Berücksichtigung der aus den durchgeführten Praxisversuchen abgeleiteten Ergebnisse sowie unter Orientierung an dem Funktionsprinzip des im Projekt „EARP“ angefertigten Funktionsmusters eines energieautarken multisensorischen RFID-Transponders – praxistaugliche Produkte auf den Markt zu bringen, so sind in diesem Zusammenhang ein hohes Marktpotenzial sowie ein großes Marktvolumen zu erwarten, da ein solches Produkt für einen breiten Anwenderkreis von hohem Interesse ist. Durch den Technologiesprung in Bezug auf die funktionelle Eignung sowie die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes gegenüber aktuell am Markt erhältlichen Produkten können die Unternehmen auf der Herstellerseite einen Wettbewerbsvorteil bzw. ein Alleinstellungsmerkmal erreichen, womit wiederum die Chance verbunden ist, einen entsprechend großen Marktanteil zu erschließen.

Potenzielle Anwender energieautarker multisensorischer RFID-Transponder sind u. a. Spediteure, Frachtführer und sonstige Logistikdienstleister, die durch einen gezielten Einsatz der neuartigen Technologie z. B. eine Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit durch transparentere Prozessabläufe, eine Erschließung neuer Anwendungsfelder und Kundengruppen oder eine Abwendung etwaiger Schadenersatzanforderungen erreichen können. Darüber hinaus sind auch die Hersteller von mehrwegfähigen Transporthilfsmitteln zum

potenziellen Nutzerkreis zu zählen, da diese mithilfe eines solchen Zustandsüberwachungssystems ihr Produktportfolio erweitern können.

Den Unternehmen auf der Anwenderseite steht durch die erzielten Projektergebnisse – in Form des mittels der Netzwerk-Balanced Scorecard entwickelten anwendungsspezifischen Kennzahlensystems – ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem der voraussichtliche Nutzen der Einführung energieautarker Sensortransponder zur Zustandsüberwachung – je nach Anwendungsfall – abgeschätzt werden kann.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden zunächst Praxisversuche durchgeführt und hieraus neue Erkenntnisse in Bezug auf vorhandene Umgebungsenergien abgeleitet, die innerhalb von TUL-Prozessen der Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasser in Form von Lichtstrahlung, Temperaturdifferenzen und Vibrationen an einer Ladeinheit zur Verfügung stehen. Des Weiteren wurden die im Zusammenhang mit den Praxistests aufgezeichneten Beschleunigungsmesswerte mithilfe einer FFT im Hinblick auf die Frequenzbereiche ausgewertet, innerhalb derer die größten Amplituden der Beschleunigung zu erwarten sind, da diese Information bei der Auswahl bzw. Optimierung eines Vibrationsgenerators von besonderem Interesse ist.

Auf der Grundlage der neu gewonnenen Erkenntnisse wurden im weiteren Projektverlauf ein elektromagnetischer Vibrationsgenerator, eine Solarzelle, ein Energiemanagement-Modul sowie ein multisensorischer RFID-Transponder zur Überwachung der Parameter Feuchte und Temperatur beschafft. Aus diesen Einzelkomponenten wurde ein Funktionsmuster eines energieautarken multisensorischen RFID-Transponders angefertigt, dessen grundsätzliche Funktionsfähigkeit im Rahmen von Laborversuchen nachgewiesen werden konnte. So ist beispielsweise die mechanische Energie, die im Zusammenhang mit einem Straßentransport mittels eines elektromagnetischen Vibrationsgenerators in elektrische Energie umgewandelt werden kann, ausreichend für neun Feuchte- und Temperaturmessungen in der Minute. Die Strahlungsenergie, die im Rahmen der Lagerung durch eine Solarzelle in elektrische Energie umgewandelt werden kann, reicht tagsüber für 18 und bei Nachtbeleuchtung für jeweils drei Feuchte- und Temperaturmessungen in der Minute.

Probleme ergaben sich bei der Projektdurchführung insbesondere in Bezug auf das Finden eines geeigneten elektromagnetischen Vibrationsgenerators für den speziellen Anwendungsfall innerhalb logistischer Prozesse, da die Entwicklungen bzw. Produkte in diesem Bereich häufig auf die Energiegewinnung im industriellen Umfeld und in diesem Zusammenhang auf die Applikation der Vibrationsgeneratoren an Maschinen abzielen. Da die an Maschinen auftretenden Schwingungen in der Regel über relativ konstante Frequenzen verfügen, ist der Frequenzbereich, innerhalb dessen diese Lösungen Energie erzeugen, auf eine sehr kleine Bandbreite um die Resonanzfrequenz des Generators herum begrenzt. Im Zusammenhang mit Transportprozessen bestehen jedoch zum Teil starke Schwankungen in Bezug auf die vorhandenen Frequenzen.

Dieses führte bei den im Prüflabor durchgeführten praxisbezogenen Versuchen dazu, dass bei den Verkehrsträgern Schiene und Wasser durch den verwendeten elektromagnetischen Vibrationsgenerator mit der Resonanzfrequenz von 12,3 Hertz keine Energie erzeugt werden konnte, da dieser lediglich in einem Frequenzbereich von 11 bis 15 Hertz Energie bereitstellte. Im Rahmen des durchgeführten Seetransportes traten allerdings in erster Linie Frequenzen im Bereich von 0,1 bis 0,3 Hertz auf, und bezogen auf den Bahntransport waren die größten Amplituden der Beschleunigung in einem Bereich von 104 bis 156 Hertz zu verzeichnen. Ein weiterer elementarer Nachteil sind die marktüblichen Preise sowie die Baugrößen aktuell verfügbarer elektromagnetischer Vibrationsgeneratoren, die unter Berücksichtigung der Kriterien der Wirtschaftlichkeit und der Praxistauglichkeit als zu hoch bzw. zu groß einzustufen sind.

Um demnach auf Basis der innerhalb des Projektes „EARP“ gewonnenen Erkenntnisse ein für den Anwender interessantes Produkt entwickeln zu können, müssen im Wesentlichen die folgenden Punkte beachtet bzw. umgesetzt werden:

- Es ist eine Weiterentwicklung bei elektromagnetischen Vibrationsgeneratoren erforderlich. Dieses beinhaltet z. B. eine spezielle Entwicklung für die Energiegewinnung im Rahmen logistischer Prozesse (es ist eine größere Frequenzbandbreite des Generators notwendig), das Erreichen einer kompakteren Bauweise oder das Erzielen eines niedrigeren Preises.

- Die Neuentwicklung eines Generators zur Gewinnung elektrischer Energie im Zusammenhang mit Seetransporten ist notwendig.
- Insgesamt ist eine geringere Baugröße des Überwachungssystems umzusetzen.
- Eine Integration des energieautarken Sensortransponders in das zu überwachende Transporthilfsmittel ist anzustreben, um hierdurch eine Verkabelung in der Behälterwand zu ermöglichen.
- Die Verwendung einer Backup-Batterie zur Sicherstellung der Energieversorgung in absoluten Worst-Case-Szenarien ist erforderlich.

6 Maßnahmen zum Ergebnistransfer

	Zeitraum / Datum	Maßnahme
Während der Projektlaufzeit	12.02.2013	Einrichtung einer Untersektion zum Projekt auf der Internetseite des VVL e. V.
	19. bis 21.02.2013	Anfertigung eines projektbezogenen Informationsflyers und Auslage auf der LogiMAT 2013
	April 2013	Publikation in der Zeitschrift „PackReport“ (Ausgabe 04/2013)
	16.04.2013	1. Sitzung des Projektbegleitenden Ausschusses
	24. bis 26.09.2013	Auslage des projektbezogenen Informationsflyers auf der FachPack 2013
	09. bis 11.10.2013	Verbreitung der Projektergebnisse sowie Gewinnung von Interessenten für die Umsetzung der Ergebnisse auf Fachtagungen wie z. B. dem AIM-Herbstforum 2013 in Stuttgart
	30.10.2013	2. Sitzung des Projektbegleitenden Ausschusses
	Februar 2014	Publikation der aktuellen Projektergebnisse im Jahrbuch 2014 der Fachzeitschrift „ident“
	25. bis 27.02.2014	Auslage des projektbezogenen Informationsflyers sowie Vorstellung der bisherigen Forschungsergebnisse auf dem Messestand des IDH auf der LogiMAT 2014
	Mai 2014	Publikation der aktuellen Projektergebnisse in der Zeitschrift „Pack & Log“ (Ausgabe 05/2014)
	19. bis 23.05.2014	Auslage des projektbezogenen Informationsflyers sowie Vorstellung der bisherigen Forschungsergebnisse auf dem Messestand des IDH auf der CeMAT 2014
	23.07.2014	Bekanntmachung des Projektes „EARP“ innerhalb des Blogs „Logistik.expert“
	September 2014	Publikation der finalen Projektergebnisse in der Zeitschrift „f+h“ (Ausgabe 09/2014)
	24.09.2014	3. Sitzung des Projektbegleitenden Ausschusses
	Zeitraum / Datum	Maßnahme
Nach Abschluss des Projektes	Januar 2015	Veröffentlichung des Schlussberichtes auf der Internetseite der Forschungsvereinigung Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik (GVB) e. V.
	10. bis 12.02.2015	Vorstellung der finalen Forschungsergebnisse auf dem Messestand des IDH auf der LogiMAT 2015
	März 2015	Publikation der finalen Projektergebnisse im „Jahrbuch Logistik 2015“
	August 2016 (geplant)	Promotion des Projektbearbeiters
	Nach Projektabschluss (geplant)	Beratung von Unternehmen bei der Auswahl und Einführung von Transportüberwachungssystemen im Rahmen von Industrieprojekten

7 Literaturverzeichnis

- [ASTM06] American Society for Testing and Materials (ASTM): *ASTM D4728 - 06 – Standard Test Method for Random Vibration Testing of Shipping Containers*. West Conshohocken: ASTM International, 2006
- [ASTM09] American Society for Testing and Materials (ASTM): *ASTM D4169 - 09 – Standard Practice for Performance Testing of Shipping Containers and Systems*. West Conshohocken: ASTM International, 2009
- [DIN08] Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.): *DIN EN 15433-4 – Transportbelastungen – Messen und Auswerten von mechanisch-dynamischen Belastungen – Teil 4: Datenauswertung*. Berlin: Beuth-Verlag GmbH, 2008
- [DIN13] Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.): *DIN 30786-2 – Transportbelastungen – Datensammlung von mechanisch-dynamischen Belastungen – Teil 2: Wertesammlungen*. Berlin: Beuth-Verlag GmbH, 2013
- [Ent10] Entian, Sebastian: *Abschlussbericht: Entwicklung eines multisensorischen Transponders zur Überwachung und Steuerung von logistischen Prozessen (IGF-Nr.: 15606 N)*, Institut für Distributions- und Handelslogistik des VVL e. V., Dortmund, 2009
- [Fin12] Finkenzeller, Klaus: *RFID-Handbuch – Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten und NFC*. 6., aktualisierte und erweiterte Aufl., München: Carl Hanser Verlag, 2012. – ISBN 3-446-42992-5
- [JE11] Jansen, Rolf; Entian, Sebastian: *Transparente Transportprozesse durch multisensorische RFID-Transponder – Zustandsüberwachung in der Distributionslogistik*. In: *ident Jahrbuch 2011*, S. 108-111

- [JSS14] Jansen, Rolf; Siebels, Tim; Schneider, Jochen: *Qualitative Überwachung der Distributionskette – Energieautarke multisensorische RFID-Transponder als Lösungsansatz*. In: ident Jahrbuch 2014, S. 112-115
- [Sie13] Siebels, Tim: *Qualitative Überwachung von TUL-Prozessen – Vision der Energieautarkie bei multisensorischen RFID-Transpondern*. In: PackReport, Heft 4/2013, S. 78-80
- [Sie14a] Siebels, Tim: *Die Logistikkette zuverlässig überwachen – Energieautarke multisensorische RFID-Transponder erweisen sich als praktikable Lösung*. In: f+h, Heft 9/2014, S. 12-15
- [Sie14b] Siebels, Tim: *Condition-Monitoring in der Distributionslogistik – Ein häufig vernachlässigtes Thema*. In: Pack & Log, Heft 05/2014, S. 26-28